

УДК 622.485:551.34

**Ф.Г. Атрошенко**

## **РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ МОЩНОЙ ТОЛЩИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД**

*Обоснован выбор альтернативного источника водоснабжения предприятий и населения в районах развития мощной толщи многолетнемерзлых пород, дано экономическое обоснование.*

*Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, водохранилища, фильтрация вод, таликовые зоны, экономическая оценка.*

**Семинар № 1**

**F.G. Atroschenko**

### **RESERVE SOURCES OF WATER SUPPLY IN THE AREAS OF THICK PERENNIALY FROZEN ROCK MASS**

*The choice of alternative source of water supply for enterprises and population in the areas of thick perennially frozen rock mass is economically justified.*

*Key words: everfrost rocks, water storage basin, water filtration, talik zones, economic evaluation.*

**Я**кутская алмазоносная провинция, осваиваемая предприятиями АК «АЛРОСА», расположена преимущественно в регионах развития мощной толщи многолетнемерзлых пород, т.е. там, где пресные подземные воды находятся или в твердом состоянии, или в жидком виде в малых реках и озерах. Поэтому водоснабжение предприятий Компании и населенных пунктов питьевой водой осуществляется в основном из водохранилищ, сооруженных на протекающих здесь реках типа Ирелях, Сытыкан и т.д. Особенность данных рек заключается в том, что в зимнее время сток на них практически отсутствует, поэтому в водохранилищах предусмотрительно накапливается такой объем воды, которого хватает для водоснабжения того или иного горо-

да на весь период отсутствия стока рек. Казалось бы, проблема проста: оценивается рост мощности предприятия и жителей населенного пункта на срок эксплуатации месторождения и создается водохранилище с высотой плотины, необходимой для накопления нужного объема пресных вод. Однако в настоящее время запланированного объема пресных вод в водохранилищах стало катастрофически не хватать из-за резкого увеличения объемов фильтрационных утечек через таликовые зоны. И проблема здесь не в ошибках гидротехников, а в принятых технических решениях, обусловленных именно существующими природными условиями, в которых находились данные гидросооружения.

#### **1. Анализ технических решений, принятых при строительстве водохранилищ в условиях развития ММП.**

При сооружении относительно небольших по объемам водохранилищ непроницаемая плотина морозного типа строится, как правило, из местных материалов. Для поддержания отрицательно-температурного режима в основании плотины и ее теле создается постоянно-действующая воздушно-замораживающая система (ВЗС),

работающая на принципе максимального использования природно-климатических условий региона.

Избыточные паводковые или ливневые воды сбрасываются через бетонный водосброс, сооружаемый в верхнем бьефе плотины, в ее правом или левом примыканиях с коренными породами.

Полный объем речных вод, накопленных в водохранилище, делится на полезный и мертвый объемы. Мертвый объем, это придонный слой воды, который нецелесообразно, забирать как по техническим причинам, так и по санитарно-гигиеническим нормам. Полезный объем водохранилища ( $V_n$ ) заведомо создается таким, чтобы обеспечить расходы на водоснабжение- $V_v$  (с учетом роста числа жителей конкретного населенного пункта и мощности предприятия в период эксплуатации месторождения) и некоторые потери воды, за счет утечек ( $V_u$ ) через таликовые зоны, образующиеся со временем в основаниях плотин. Расходование полезного объема водохранилища можно записать в виде следующей несложной балансовой зависимости:

$$V_n = V_v + V_u - V_{nn}, \quad (1)$$

где  $V_{nn}$  — объем подпитки водохранилища из внешних источников, который в теплый период значительно превышает расходы на водоснабжение и фильтрационные утечки, поэтому часть вод из водохранилища приходится искусственно сбрасывать. В зимнее время (особенно в начальный период эксплуатации водохранилища) объемы подпитки резко сокращаются и в период глубокой межени вообще перестают функционировать. Но в дальнейшем, по мере образования таликовых зон в верховьях водохранилища, некоторый объем подпитки полезного объема из внешних источников существует круглогодично.

Следовательно, при равенстве объемов подпитки фильтрационным утечкам полезного объема водохранилища всегда должно хватать на техническое и питьевое водоснабжение (возможность ошибки в прогнозных оценках роста мощностей предприятий и жителей данного населенного пункта мы не рассматриваем). Но обычно прогноз роста водопотребления составляется на 25—50 лет. Этот период времени принимается во внимание и при расчетах размеров зоны растепления коренных пород под основанием плотины и в ее бортах, т.е. решается тепловая задача при некоторых осредненных теплофизических параметрах коренных пород за принятый расчетный период. Однако, наряду с тем, что сроки эксплуатации водохранилищ практически всегда оказываются большими прогнозных, на участках заложения плотин исследуемого региона есть очень слабые места, приводящие к преждевременному развитию таликовых зон и соответственно к непрогнозируемому увеличению фильтрационных утечек.

Во-первых, это природные условия, а именно геологическое строение коренных пород в основании плотин: литологический разрез представлен здесь незакономерным чередованием терригенных и карбонатных слоев и прослоев, фильтрационные свойства и теплофизические параметры которых существенно разнятся и осреднению не подлежат. Кроме того, в процессе инженерно-геологических изысканий в районе гидроузла не всегда удается достаточно полно изучить тектоническую обстановку, а именно выявить (на первый взгляд малозначащие) разрывные нарушения, разломы, системы трещиноватости, которые в дальнейшем и будут способствовать более раннему созданию

таликовых зон и непрогнозируемому увеличению фильтрационных утечек.

Во-вторых, имеющаяся конструктивная особенность в плотинах такого типа как водосбросной канал: бетонный "кожух" канала (в отличие от всей плотины) и подстилаемые его породы подвергаются, с одной стороны, механическому воздействию потока паводковых вод. А с другой, мощному тепловому воздействию как фронтальному, со стороны водохранилища, так и площадному, действующему на всем протяжении водосбросного канала — от верхнего бьефа плотины до его хвостовой части. Под действием указанных факторов через 3—4 года с момента ввода в эксплуатацию водохранилища под дном водосброса образуется водопроводящая таликовая зона. С этих пор и начинает проявляться непрогнозируемое увеличение фильтрационных утечек, обусловленное действием площадного источника растепления. Действие данного источника является наиболее опасным, так как в течение нескольких лет эксплуатации водохранилища утечки по образовавшейся таликовой зоне незначительны из-за малых ее размеров.

Однако, по мере увеличения мощности талика, охватывающего хорошо проводящие карбонатные слои или разломную зону, происходит резкий скачок в величине фильтрационных потерь, сопровождаемый освобождением водопроводящих трещин от ледового и грунтового заполнителей. С этого момента начинается более быстрое развитие талика вглубь и вширь под основанием плотины с одновременным и закономерным увеличением фильтрационных потерь, объем которых становится большим, чем объем подпитки водохранилища в зимнее время из внешних источников. В результате полезный объем водохрани-

лишь начинает срабатывать за более короткий срок, чем это было рассчитано на время зимней межени — декабрь—апрель каждого года. В частности, вследствие этого гидротехнические службы горнообогатительных комбинатов (ГОКов) Компании вынуждены решать задачу перехвата части фильтрационных утечек в нижнем бьефе плотин и возвращать их обратно в водохранилища. Исходя из этого вышеприведенная зависимость (1) может быть записана в следующем виде:

$$V_n = V_v + V_{bn} - V_{vn} - V_{nn}, \quad (2)$$

где  $V_{bn}$  — безвозвратные потери и  $V_{vn}$  — объем возвращаемых потерь.

Отметим, что данная мера еще более ухудшает и без того низкое качество вод в данных водоемах. С площади водосбора водохранилища в него поступают воды загрязненные взвесями, фенолами, нитратами, нефтепродуктами и тяжелыми металлами, смываемыми с дачных участков, дорог, складов ГСМ, стоянок автотранспорта и др.

Кроме того, необходимость ведения ремонта плотин, связанного с выполнением больших объемов земляных работ и закачки тампонажных (преимущественно цементно-глинистых) растворов в таликовые зоны, вынуждает Компанию уже несколько лет нести высокие непроизводительные затраты без существенного изменения ситуации. Необходимо сразу же заметить, что принимаемые меры имеют временный характер, так как без восстановления мерзлотных свойств в талике под основанием плотин и их примыканиях работы подобного типа могут привести лишь к кратковременному снижению фильтрационных утечек. Продолжающаяся фильтрация вод по талым зонам - образовавшимся в ложе водохранилищ и ММП — вызовет дальнейшее растепление мерз-

лых пород ниже и шире области влияния тампонажа. В конечном итоге, по проницаемым в разрезе слоям вновь растепленных пород, произойдет повторное резкое повышение фильтрационных утечек воды из водохранилищ.

Создание же воздушно-замораживающих систем (ВЗС) на больших глубинах связано со значительными капитальными и эксплуатационными затратами. При этом для эффективной эксплуатации ВЗС обязательным является снижение скоростей фильтрации в зоне заморозки до значений близких к нулевым. К примеру, при проходке стволов притоки к ним не должны превышать  $8 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Тем не менее, эксплуатация водохранилищ продолжается, так как других источников питьевых вод здесь пока не найдено.

## **2. Выбор и обоснование альтернативного источника водоснабжения**

Сложившаяся ситуация на Сытыканском и Иреляхском водохранилищах может быть серьезно изменена в лучшую сторону, если подойти к проблеме водоснабжения с принципиально иных позиций. В частности, отказаться от организации водозабора непосредственно из водохранилища и вести откачку пресных питьевых вод напрямую из образовавшегося талика под водохранилищем. В этом варианте не только весь объем водохранилища (а не только полезный) может быть задействован под проблему водоснабжения, но и гравитационные запасы таликовой зоны. При этом работы по отсыпке глинистых грунтов и тампонажу талых зон в пределах плотин для снижения скоростей фильтрации могут продолжаться. Но необходимо понимать, что эффективность тампонажа сама по себе также зави-

сит от величины скоростей фильтрации: из практики сооружения гидротлин известно, что наилучшая закупорка трещинных зон происходит при ведении тампонажа в режиме пропитки при минимальных скоростях фильтрации. Поэтому благоприятные условия для ремонта плотины возможны лишь при радикальном снижении уровня воды в водохранилищах как минимум до отметок «мертвого» объема. Последнее сразу же ставит вопрос о поиске резервного источника водоснабжения с необходимой производительностью (хотя бы на период ремонта плотин и создания ВЗС) и соответствующего качества воды. Данное предположение определяется рядом (частично вышеперечисленных) очевидных причин:

- необходимостью удовлетворения потребностей населения и предприятий указанных городов в питьевой и технической воде при возникновении потенциально возможных аварийных ситуаций на существующих водохранилищах;
- низким качеством питьевых вод в водохранилищах, связанных с их слабой степенью защиты от поверхностных источников загрязнения;
- высокими эксплуатационными затратами, расходуемыми Компанией на проведение ремонтных работ на плотинах и обратную перекачку фильтрационных потерь в водохранилища;
- высокой степенью зависимости работы водозаборных сооружений от определенного уровня воды в водохранилищах, при котором сохраняются повышенные скорости фильтрации и, естественно, потери полезного объема водохранилищ;
- необходимостью эффективного проведения ремонтных работ на плотинах в наиболее благоприятных условиях.

Решение поставленных задач вполне осуществимо, если (как уже сказано выше) в качестве резервного источника водоснабжения рассматривать запасы вод, образовавшиеся в искусственно созданных таликах под влиянием эксплуатации указанных водохранилищ. В этом случае вся емкость водохранилищ (полезная емкость и «мертвый» объем) в той или иной степени может использоваться для водоснабжения при организации скважинного водозабора. И, в принципе, можно не беспокоиться о том, что плотины фильтруют воду, если они не потеряют свою устойчивость. Поэтому, при сложившейся ситуации на гидроузлах, с гидрогеологической точки зрения необходимо решить ряд задач, а именно:

1) оценить фильтрационную устойчивость плотин водохранилищ в талом состоянии, чтобы ответить на вопрос, а нужен ли ремонт плотин и в какой степени?

2) выявить границы участков талых зон с повышенными мощностями оттайки и скоростями фильтрации для выбора мест заложения первоочередных опытных водозаборных скважин;

3) изучить условия (при существующих и потенциально возможных фильтрационных потерях полезного объема водохранилищ), при которых можно организовать хозяйственное водоснабжение населенных пунктов и предприятий Компании в определенный период времени за счет эксплуатационных запасов вод таликовых зон водохранилищ.

На эти и другие вопросы могут быть даны однозначные ответы при проведении стандартного и недорогого, на наш взгляд, комплекса гидрогеологических, инженерно-геологических, геофизических и гидрологических работ, направленных на оценку емкостных запасов талика, требуе-

мых для обеспечения необходимых объемов водопотребления при полной сработке объема водохранилищ, т.е. при создании минимально возможных скоростей фильтрации. С этой целью были проанализированы данные режимных наблюдений за колебаниями уровня в Иреляхском водохранилище и расходами обратной перекачки в период с ноября 2001 по май 2002 года (табл. 1). Нетрудно заметить, что (при существующем состоянии плотины) для обеспечения города водой необходимо было вести непрерывные работы по перекачке почти 6 млн. м<sup>3</sup> фильтрационных «проскоков» обратно в водохранилище.

Анализируя табличные данные, следует обратить внимание на то, что фактические потери полезной емкости водохранилища (даже без учета безвозвратных фильтрационных утечек) меньше объема вод, отбираемых на водоснабжение, т.е. имеется подпитка полезной емкости из внешних источников (такowymi могут быть подрусловые талики, расположенные в верховьях р. Ирелях и ее притоков). Тогда балансовое уравнение (2) можно для наглядности переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_z &= V_v + V_{bn} - V_{nn} \text{ или} \\ V_z + V_{vn} &= V_v + V_{vn} + V_{bn} - V_{nn} \text{ или} \\ V_z + V_{vn} - V_v &= V_u - V_{nn} = V, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $V_u = V_{vn} - V_{bn}$  — общий объем фильтрационных утечек.

Анализируя структуру приведенной зависимости, видим, что у нас имеется два неизвестных — объемы подпитки и безвозвратных потерь. В соответствии с фактическими данными и структурой приведенной формулы, суммарные объемы утечек должны быть всегда больше объема подпитки, а безвозвратные потери меньшими и одновременно эти расходные статьи могут быть только больше или равны нулю. Отсюда подбором можно найти

Таблица 1

Потери уровня воды в в-ше, м абс.	Замеренные Фактические объемы потерь в-ша, Vz, мз	Объем воды, идущий на водоснаб. города, Vv, мз	Объем Возврата воды в-ше, в Vvp, мз	Текущий градиент, I	Расчетный период, t, сут.	Месяц
292.72-	1168500	1500000	1320000	00574	30	11
292.4	1458000	1550000	1076000	00558	31	12
292.42-	1397500	1550000	1094300	0.0538	31	1
		1400000				
292.0 .	1285700	1550000	957700	0.0517	28	2
		1500000				
292.0—						
291.5	1437250		715650	0.0494	31	3
291.5—	1341600		600000	0.0471	30	4
291.05.						
291.05—						
290.5						
290.5—						
290.0						
Итого	8288500	9050000	5925100			-

минимальные величины общих фильтрационных потерь водохранилища на каждый расчетный момент времени (см. табл. 1), при которых выполняются принятые ограничения. В частности, данный подбор осуществляется по следующей зависимости:

$$V_u = Q_t = AtI, \quad (4)$$

где  $Q$  — расход утечек при определенном градиенте фильтрации;  $I$  — расчетный промежуток времени;  $A$  — параметр, характеризующий размеры и фильтрационные свойства талой зоны (в нашем случае принят постоянным);  $I$  — среднее значение градиента фильтрации на расчетный период времени.

Далее, задаваясь значением расхода утечек при максимально возможном положении уровня в водохранилище (НПУ 293.65 м), мы находим значение параметра ( $A$ ). А затем уже с помощью данной зависимости и сведений об изменении емкости водохранилища во времени (см. табл. 1) находятся осредненные значения расходов общих утечек и только потом

объемы безвозвратных утечек и подпитки водохранилища.

Расчетные данные приведены в табл. 2.

Проведенный подбор показывает, что минимальный начальный расход утечек из Иреляхского водохранилища (отм. 293.65 м) не может быть меньше 2000 м<sup>3</sup>/час, а отсюда расход утечек на уровне «мертвого» объема составит порядка 1400 м<sup>3</sup>/час. Тогда, исходя из того, что объемы перехвата водозаборными скважинами фильтрационных утечек составят не менее 50%, «мертвый» объем водохранилища (более 13 млн. м<sup>3</sup>) будет израсходован более чем за 6 месяцев. Следовательно, емкости водохранилища в «мертвом» объеме с гравитационными запасами таликовой зоны вполне хватит для водоснабжения города и предприятий в зимний сезон в необходимых количествах. В теплое же время года, при предлагаемой системе организации водоснабжения из талика, можно будет поддерживать такой постоянный уровень воды в водо-

Таблица 2

Месяц года	$\Delta V = V_z + V_{vn} - V_v$ , м <sup>3</sup>	$Q_{нач} = 1500 \text{ м}^3/\text{час}$			$Q_{нач} = 2000 \text{ м}^3/\text{час}$		
		$V_u$ , м <sup>3</sup>	$V_{bn}$ , м <sup>3</sup>	$V_{nn}$ , м <sup>3</sup>	$V_u$ , м <sup>3</sup>	$V_{bn}$ , м <sup>3</sup>	$V_{nn}$ , м <sup>3</sup>
XI	1000500	1033700	-298300	33200	1378300	46300	377800
XII	1215600	1038400	-169200	-177200	1384600	177000	169000
I	941800	100400	-93900	+58600	1333900	239600	392100
II	861400	868100	-89600	+6700	1157500	199800	296100
III	702900	919800	204150	216900	1226400	510750	523500
IV	441600	848100	248100	406500	1130800	530800	689200

Таблица 3

Вид работ	Ед. изм	Ремонтные работы			Изыскания под водозабор		
		Общий объем	Стоим. ед. объем работ, руб.	Общая стоим, тысяч руб.	Общий объем	Стоим. ед. объем работ, руб.	Общая стоим, тысяч руб.
Земляные	м <sup>3</sup>			?	0	0	0
Бурение скв. диам. 112 мм	м.п.	3600	6000	21600	720	6000	4320
Тампонажный раствор	м <sup>3</sup>			30000	0	0	0
Бурение скв. 12"	м.п.	0	0	0	480	15000	7200
Ремонт ВЗС				?	0	0	0
Обратная перекачка вод в в-ше	м <sup>3</sup>	6000000	0.51	3060	0	0	0
Термометрический режим (НИР)	шт.	1000	600	600	0	0	0
Площадная геофизика	км <sup>2</sup>	10	1344.	13.4	15	1344.22	20,2
ОФР	бр\см	0	0	0	100	900	90
Камеральные работы				100	-	-	3200
Итого				55333.4			15840.2

хранилище (ниже отметки +289.4 м), при котором максимальные утечки составят менее 500 м<sup>3</sup>/час.

### 3. Экономическая оценка гидрогеологических работ по созданию водозабора в сравнении с затратами, расходуемыми на ремонт плотины Иреляхского гидроузла.

Существующие затраты компании для поддержания плотины Иреляхского гидроузла в рабочем состоянии подразделяются на капитальные, экс-

плуатационные и научно-исследовательские.

В капитальные затраты входит стоимость работ по ремонту плотины. Эти затраты идут на производство земляных работ по пригрузке таликовых зон в ложе водохранилища, на бурение тампонажных скважин на всю мощность таликовой зоны, изготовление тампонажных растворов, переустройство ВЗС и оплату электроэнергии, расходуемой при проведении этих работ.

Эксплуатационные затраты формируются из платы за электроэнергию, расходуемую при перекачке фильтрационных утечек обратно в водохранилище, трат на ремонт насосного оборудования и оплату труда работников, вновь образованного участка. Расходы на научно-исследовательские работы складываются преимущественно из затрат на бурение скважин под новые виды тампонажа, режимные термометрические скважины и различные виды съемок по определению границ распространения талой зоны и ряд других мелких работ.

**Основные затраты** при проведении гидрогеологических исследова-

ний, направленных на создание водозабора из таликовой зоны, связаны с проведением изысканий по оценке эксплуатационных запасов подруслового талика.

Объемные и экономические показатели ремонтных работ на плотине и изысканий под строительство водозабора приведены в табл. 3.

Анализируя табличные данные видим, что годовые затраты на ремонт плотины (без учета земляных работ и переустройства ВЗС, которые по экспертным оценкам в 2 раза превышают затраты на остальные виды работ таблицы) в три раза превышают расходы на сооружение водозабора. **Табл. 3**

#### Коротко об авторе

Атрошенко Ф.Г. – Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН (СПбО ИГЭ РАН), hydra@hydra.nw.ru, slarum@hydra.nw.ru.



## ДИССЕРТАЦИИ

### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ</b>			
САЯПОВ Данил Фагилович	Компьютерные технологии оценки запасов рудного месторождения (на примере Сибайского месторождения медноколчеданных руд)	25.00.16	к.т.н.
СЕДОВ Николай Петрович	Оптимизация технологических параметров скважинного подземного выщелачивания драгоценных металлов (на примере месторождения Долгий Мыс)	25.00.22	к.т.н.